หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

แบบจำลองโรงไฟฟ้า และเทคนิคการคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าจำลองเฉลี่ยของโรงไฟฟ้า

3.1 แบบจำลองโรงไฟฟ้า

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่าระบบโคเจนเนอเรชัน เป็นทางเลือกอีกทางหนึ่งในการเพิ่มความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า และยังช่วยลดภาระค่าใช้จ่ายในการลงทุนปรับปรุงความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า ระบบโคเจนเนอเรชัน (ในที่นี้จะรวมทั้งกรณี ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก (SPP) และผู้ผลิตไฟฟ้าอิสระ (IPP)) สามารถทำการต่อขนาน (parallel operation) เข้าระบบส่ง หรือระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าที่จุดไหนก็ได้ ที่นิยมโดยทั่วไปจะทำการต่อขนานที่สายส่งในระบบส่ง (network line) ที่บัส (network bus) หรือที่สายแบบเรเดียลในระบบจำหน่าย (radial line)

จุดประสงค์หลักของการต่อขนานกับระบบกริดของการไฟฟ้า คือ

1.) ในสภาวะปกติ ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติงานของระบบ หรือใช้เป็นแหล่งจ่ายพลังงานให้แก่โหลดที่ระบบส่ง หรือระบบจำหน่ายไฟฟ้าปกติที่ไม่สามารถจ่ายได้

2.) ในสภาวะเหตุขัดข้อง จะใช้โคเจนเนอเรชันเป็นแหล่งจ่ายโหลด ให้แก่ผู้ใช้ได้ในบางกรณี

โรงไฟฟ้าเหล่านี้หากใช้งานทั้งในสภาวะปกติ และสภาวะที่เกิดเหตุขัดข้อง เราจะเรียกว่าทำงานแบบ parallel operation ส่วนกรณีที่ใช้เฉพาะในสภาวะที่เกิดเหตุขัดข้องอย่างเดียวเราจะเรียกว่า standby redundant โรงไฟฟ้าโดยทั่วไปจะประกอบด้วย Turbo-alternator หม้อไอน้ำ ซึ่งจะต่อเข้ากับบัสบาร์ร่วม โดยต่อผ่านเซอร์กิดเบรคเกอร์ที่มีสภาวะการทำงานแบบ เปิดหรือปิด เพื่อบ่งบอกสภาวะว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้นหยุดทำงาน (shut down) หรือกำลังทำงานอยู่ บัสบาร์ของโรงไฟฟ้าจะต่อเข้ากับระบบกริดของการไฟฟ้า โดยผ่าน tie-branch ซึ่งใช้เป็นเส้นทางการไหลของกำลังไฟฟ้า

ในการสร้างแบบจำลองของระบบโคเจนเนอเรชันนั้น เนื่องจากชนิดของระบบโคเจนเนอเรชันมีจำนวนมากดังนั้นเพื่อความสะดวกในการคำนวณ เราจะสร้างแบบจำลองโดยพิจารณาเฉพาะอุปกรณ์หลักซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญต่อการคำนวณค่าความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่าย

ในการพิจารณาผลของระบบโคเจนเนอเรชันที่มีต่อค่าความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายเราจะทำการคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าจำลองเฉลี่ยของโรงไฟฟ้า (Fictitious average capacity of generating station) ซึ่งเราจะนิยามเป็นค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยตลอดทั้งปี หรือตอนช่วงเวลาที่ทำการจ่ายโหลดของโรงไฟฟ้าโดยรวมผลของโรงไฟฟ้าทั้งกรณีที่ทำงานตลอดทั้งปี หรือทำงานเฉพาะช่วงระยะเวลาตามฤดูกาลการผลิต เช่นโรงงานน้ำตาล เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อลดขั้นตอนในการแบ่งการคำนวณออกตามช่วงเวลา การคำนวณจะพิจารณาผลของค่าทางสถิติของอุปกรณ์หลักที่มีต่อค่ากำลังไฟฟ้าจำลองเฉลี่ย รวมทั้งลักษณะการต่อของอุปกรณ์หลักของโรงไฟฟ้า แต่ละชนิดด้วย

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะไม่พิจารณาผลของ Substation และ Switching Station โดยจะทำการพิจารณาเฉพาะผลของโรงไฟฟ้าที่สามารถจ่ายไฟฟ้าส่วนเกินเข้าระบบกริดของการไฟฟ้าเท่านั้น และจะไม่คิดกรณีที่มีการซื้อไฟฟ้าจากการไฟฟ้าเพื่อใช้ในโรงงานที่มีระบบโคเจนเนอเรชันต่ออยู่ทั้งนี้เนื่องจากเราพิจารณาผลกระทบของระบบโคเจนเนอเรชันในกรณีที่สามารถจ่ายไฟฟ้าเข้าระบบกริดของการไฟฟ้าได้ ส่วนกรณีที่ซื้อไฟฟ้าเราสามารถพิจารณาโรงงานดังกล่าวเป็นโหลดเพิ่มเติมของระบบการไฟฟ้า

สำหรับการต่อระบบโคเจนเนอเรชันเข้ากับระบบกริดของการไฟฟ้าเราจะพิจารณาเฉพาะกรณีเพิ่มเข้าที่บัส (network bus) เท่านั้น นอกจากนี้ค่าทางสถิติที่ใช้จะทำการพิจารณาเฉพาะกรณี Total Failure หรือ Permanent Failure เท่านั้น โดยผู้วิจัยจะไม่นำผลของ Active failure มาพิจารณา สำหรับสถานีหม้อแปลง(station transformer) เราจะพิจารณาเฉพาะกรณีสถานีหม้อแปลงแบบเฉพาะตัว (individual station transformer) เท่านั้น

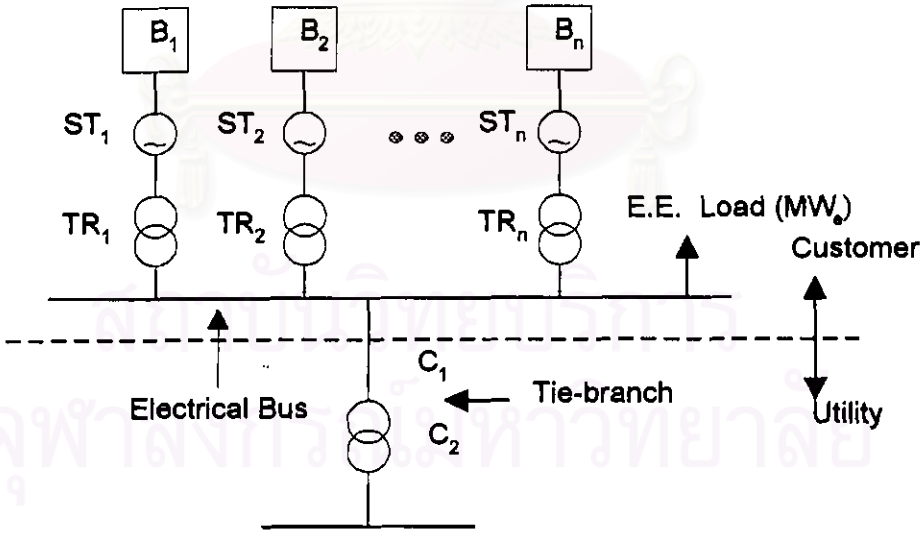
จากการพิจารณาระบบโคเจนเนอเรชันแต่ละชนิดที่กล่าวมาแล้ว เราสามารถสร้างแบบจำลองของระบบโคเจนเนอเรชันโดยแบ่งออกได้เป็น 9 สถานีดังนี้

1. Topping Cycle Cogeneration with Steam Turbine (Unit Plant)
2. Topping Cycle Cogeneration with Steam Turbine (Range Plant)
3. Topping Cycle Cogeneration with Gas Turbine
4. Combined Cycle Cogeneration with Steam Turbine as Topping Cycle (Unit Plant)
5. Combined Cycle Cogeneration with Steam Turbine as Topping Cycle (Range Plant)
6. Combined Cycle Cogeneration with Steam Turbine as Bottoming Cycle (Unit Plant)

7. Combined Cycle Cogeneration with Steam Turbine as Bottoming Cycle (Range Plant)
8. Bottoming Cycle Cogeneration with Steam Turbine (Unit Plant)
9. Bottoming Cycle Cogeneration with Steam Turbine (Range Plant)

โดยในแต่ละกรณีเราจะพิจารณาแบบจำลองของ Turbo-alternator เป็นชนิด two-state unit หรือ multi-state unit ส่วนกรณีของหม้อไอน้ำ หรือ Heat Recovery Steam Generator (HRSG) เราจะพิจารณาแบบจำลองเป็นชนิด two-state unit เท่านั้น การที่เราพิจารณา turbo-alternator เป็นชนิด multi-state unit ด้วยนั้นเนื่องจากระบบดังกล่าวอาจมี turbine หลายตัวต่อเข้ากับ alternator ตัวเดียวได้ แต่กรณีของ boiler หรือHRSG เป็นลักษณะแบบเฉพาะตัว ดังนั้นจึงสร้างแบบจำลองเฉพาะ two-state model เท่านั้น

3.1.1 Station 1 : Topping Cycle Cogeneration with Steam Turbine (Unit Plant)



รูปที่ 3.1 แบบจำลองโรงไฟฟ้า Topping Cycle Cogeneration with Steam Turbine (Unit Plant)

จากรูป จะพบว่า Boiler (B) ต่ออนุกรมอยู่กับ Turbo-alternator ที่ใช้ steam turbine เป็น prime mover (ST) และ หม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง (TR) แยกออกตามแต่ละยูนิต ดังนั้นการ

คำนวณค่ากำลังไฟฟ้าจำลองเฉลี่ยสามารถทำได้ง่ายโดยการนำค่าความพร้อมมูลของแต่ละอุปกรณ์ที่ประกอบรวมกันเป็นยูนิตเดียวนำมาคูณกันทั้งหมดก็จะได้ค่า ความพร้อมมูลรวมของทั้งยูนิต โดยค่ากำลังผลิต (MW) ของยูนิตนั้นเราจะเลือกค่ากำลังผลิตที่น้อยที่สุดของส่วนประกอบที่อนุกรมกันอยู่ หลังจากนั้นนำค่าความพร้อมมูล และค่ากำลังผลิตรวมของแต่และยูนิตมาทำการสร้างตารางความน่าจะเป็นของกำลังผลิตไฟฟ้าที่เกิดขัดข้อง (capacity outage probability table (COPT)) โดยเราจะพิจารณาขนาดกำลังผลิตที่มีได้ร่วมด้วย หลังจากนั้นทำการรวมผลของ tie-branch ซึ่งมีลักษณะการต่อแบบอนุกรมโดยนำ COPT มาปรับค่าความน่าจะเป็นของแต่ละ สถานะ โดยการคูณค่า ความพร้อมมูล สมมูลย์ของ tie-branch เข้ากับค่าความน่าจะเป็นของแต่ละ สถานะ ใน COPTโดยใน สถานะ สุดท้ายเราจะทำการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นด้วยค่า (1-availablity) เพื่อเป็นการรวมผลของกรณีที่ tie-branch เกิด failure หลังจากนั้นจะทำการคูณค่ากำลังผลิตที่มีได้ในแต่ละ สถานะ เข้ากับค่าความน่าจะเป็นของแต่ละ สถานะ ในตารางแล้วนำมารวมทั้งหมดก็จะได้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ผลิตได้ของโรงไฟฟ้า หลังจากนั้นจะทำการลบออกด้วยค่ากำลังไฟฟ้าที่ต้องการในกระบวนการผลิต ซึ่งจะได้ค่าสุทธิของกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ผลิตได้ ซึ่งเราจะเรียกค่านี้ว่า ค่าจำลองไฟฟ้าเฉลี่ยของโรงไฟฟ้า (fictitious average capacity of generating station) ซึ่งมีหน่วยเป็น MW

แบบจำลองทั้งหมดที่จะกล่าวถึงในวิทยานิพนธ์นี้ สามารถนำมาใช้ได้กับทั้งกรณี ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก (SPP) และ ผู้ผลิตไฟฟ้าอิสระ (IPP) เพียงแต่ไม่นำผลของ E.E. load (MW) ซึ่งเป็นโหลดทางไฟฟ้าที่ต้องใช้ในกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมออก นอกจากนี้กรณีของ bottoming cycle ซึ่งเป็นกรณีที่กระบวนการผลิตต้องใช้ไอน้ำซึ่งเป็นรูปแบบจำลองที่จะกล่าวต่อไป ก็ทำการตัดทิ้ง เนื่องจากกรณีของ SPP และ IPP ไม่มีส่วนของกระบวนการผลิตเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย

กรณี turbo-alternator (ST set) เป็นแบบกรณี multi-state เราจะทำการสร้างตาราง COPT โดยใช้สมการดังนี้ [2]

$$P(X) = (1-U)P'(X) + (U)P'(X-C) \qquad (3.1)$$

1.) กรณี two-state unit

โดยที่

P(X) = ค่าความน่าจะเป็นแบบ cummulative ของแต่และ สถานะ ใน COPT หลังจากทำการเพิ่มยูนิตเข้าระบบ

$P'(X)$ = ค่าความน่าจะเป็นแบบ cummulative ของแต่ละ สถานะ ใน COPT ก่อนทำการเพิ่มยูนิตเข้าระบบ

X = ค่ากำลังผลิตที่เกิดขัดข้องของแต่ละ สถานะ ใน COPT (MW)

C = ค่ากำลังผลิตที่เกิดขัดข้องของยูนิตที่จะทำการเพิ่มเข้าระบบ (MW)

U = ค่า FOR หรือค่า ความไม่พร้อมมูล ของยูนิตที่ทำการเพิ่มเข้าระบบ

โดยมีเงื่อนไขที่จำเป็นคือ

$P'(X) = 1.0$ กรณี $X \leq 0$

$P'(X) = 0$ กรณีอื่นๆ

กรณีค่า $P'(X)$ ไม่สามารถหาได้จากตารางเนื่องจากไม่ตรงกับค่า X ในแต่ละ สถานะ เราจะทำการเลือกใช้ค่า $P'(X)$ ของ สถานะ X ที่สูงกว่าหนึ่งขั้น

2.) กรณี multi-state unit

$$P(X) = \sum_{i=1}^{n} p_i P'(X - C_i) \qquad (3.2)$$

โดยที่

$P(X)$ = ค่าความน่าจะเป็นแบบ cummulative ของแต่ละ สถานะ ใน COPT หลังจากทำการเพิ่มยูนิตเข้าระบบ

$P'(X)$ = ค่าความน่าจะเป็นแบบ cummulative ของแต่ละ สถานะ ใน COPT ก่อนทำการเพิ่มยูนิตเข้าระบบ

X = ค่ากำลังผลิตที่เกิดขัดข้องของแต่ละ สถานะ ใน COPT (MW)

n = จำนวน multi-state ของ turbo-alternator

C_i = ค่ากำลังผลิตที่เกิดขัดข้องของแต่ละ สถานะ ของ multi-state unit (MW)

p_i = ค่าความน่าจะเป็นของแต่ละ สถานะ ของ multi-state unit

โดยมีเงื่อนไขที่จำเป็นคือ

$P'(X) = 1.0$ กรณี $X \leq 0$

$P'(X) = 0$ กรณีอื่นๆ

กรณีค่า $P'(X)$ ไม่สามารถหาได้จากตารางเนื่องจากไม่ตรงกับค่า X ในแต่ละ สถานะ เราจะทำการเลือกใช้ค่า $P'(X)$ ของ สถานะ X ที่สูงกว่าหนึ่งขั้น

จากขั้นตอนทั้งหมดที่ได้กล่าวมาเราสามารถสรุปวิธีการคำนวณได้ดังนี้

- คำนวณค่าความพร้อมมูลสมมูลย์ของยูนิต

$$Availability\ of\ boiler\ (P_B) = \frac{MTTR}{MTTR + MTTF} \tag{3.3}$$

$$Availability\ of\ ST\ set\ (P_{ST}) = \frac{MTTR}{MTTR + MTTF} \tag{3.4}$$

$$Availability\ of\ TR (P_{TR}) = \frac{8760}{\lambda r + 8760} \tag{3.5}$$

โดยที่

MTTR = mean time to repair (%/yr.)

MTTF = mean time to failure (%/yr.)

λ = total failure rate or permanent failure rate (f/yr.)

r = repair rate (hr.)

ดังนั้นค่าความพร้อมมูลสมมูลย์ของยูนิตหาได้จาก

$$Equivalent\ Availability\ (P_{eq}) = P_B \times P_{ST} \times P_{TR} \tag{3.6}$$

กรณี ST-set ที่เป็นแบบ multi-state เราจะต้องทำการปรับค่าความพร้อมมูล ของแต่แถะ สถานะ ใน multi-state unit โดยทำการคูณด้วยค่า P_B แถะค่า P_{TR} ในแต่ละสถานะ จากนั้นทำการเถือกค่า capacity ของยูนิตโดยทำการเถือกค่า capacity ที่น้อยที่สุด

- ทำการสร้างตาราง COPT
- ทำการปรับตาราง COPT โดยรวมผลของ tie-branch ซึ่งเราจะต้องหาความพร้อมมูลสมมูลย์ของ tie-branch โดยใช้สมการ

$$Availability\ of\ TR, C_2\ (P_{C2}) = \frac{8760}{\lambda r + 8760} \tag{3.8}$$

$$Availability\ of\ Line, C_1\ (P_{C1}) = \frac{8760}{\lambda rl + 8760} \tag{3.7}$$

โดยที่

l = length of line or cable (km.)

λ = total failure rate or permanent failure rate (f/yr. or f/yr.km)

ดังนั้นค่า ความพร้อมมูลสมมูลย์ของ tie-branch (A) หาได้จาก

$$A = P_{C1} \times P_{C2} \tag{3.9}$$

ทำการปรับตาราง COPT โดยใช้สมการ

$$PS_i^{new} = PS_i^{old} \times A \tag{3.10}$$

สำหรับ i = 1,2, ... , (m-1)

$$PS_m^{new} = PS_m^{old} \times A + (1-A) \tag{3.11}$$

โดยที่

PS = Capacity outage probability table (COPT)

m = จำนวน สถานะ ทั้งหมดใน COPT

- คำนวณค่ากำลังผลิตจำลองเฉลี่ย C_{av} ของโรงไฟฟ้าได้จากสมการ

$$C_{av} = \sum_{i=1}^{m} PS_i^{new} \times CP_i - E.E.Load\,(MW) \tag{3.12}$$

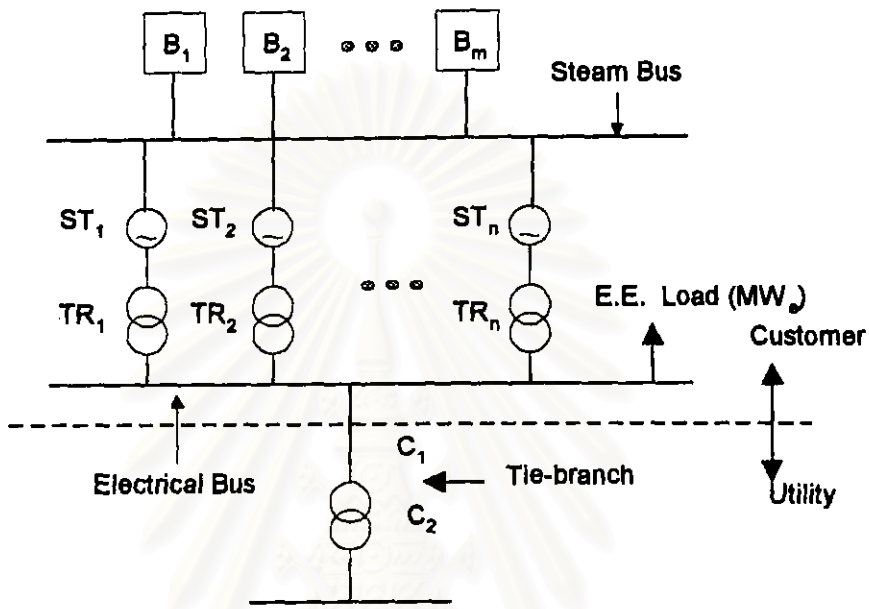
โดยที่

CP_i = ค่า Capacity IN (MW) ในแต่ละ สถานะ ใน COPT

E.E. load = ค่ากำลังไฟฟ้าที่ต้องการใช้ในกระบวนการผลิตทั้งหมด (MW)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.1.2 Station 2 : Topping Cycle Cogeneration with Steam Turbine (Range Plant)

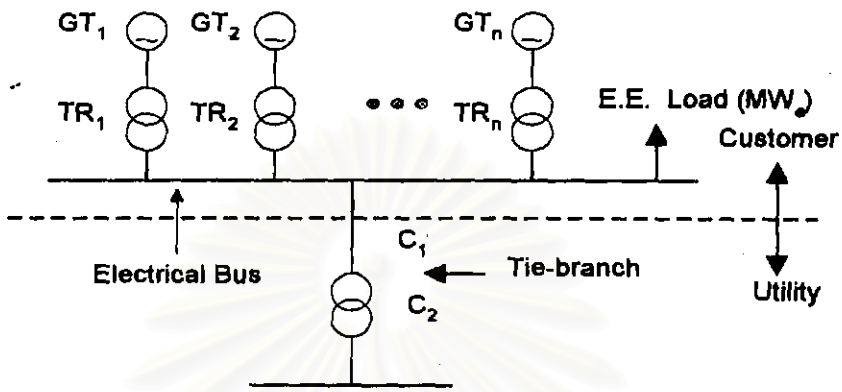


รูปที่ 3.2 แบบจำลองโรงไฟฟ้า Topping Cycle Cogeneration with Steam Turbine (Range Plant)

แบบจำลองในกรณีนี้คล้ายกับแบบที่ 1 ต่างกันตรงที่ Boiler มีการต่อแบบ range plant โดยมี steam bus เป็นลักษณะบัสร่วมคล้ายกับบัสทางไฟฟ้า เทคนิคการคำนวณในกรณีนี้จะต้องแยกการคำนวณ COPT ออกเป็นสองตาราง โดยคำนวณกลุ่มของ boiler เป็น COPT แรก และกลุ่มของ ST-set และหม้อแปลงเป็น COPT ที่สอง หลังจากนั้นนำ COPT ทั้งสองตารางมาทำ conditional ทางความน่าจะเป็น ส่วนทางด้านกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ในแต่ละ สถานะ จะต้องทำการเปรียบเทียบ capacity ในแต่ละขั้นของการทำ conditional probability โดยทำการเลือกค่า capacity ที่น้อยที่สุด หลังจากนั้นทำการรวมผลของ tie-bus คล้ายกับกรณีที่กล่าวไว้ในแบบที่ 1

ในการสร้าง COPT ของ boiler นั้นทำได้ง่ายเนื่องจากรูปแบบจำลองที่ใช้ของ boiler นั้นเราจะใช้ two-state model เท่านั้น

3.1.3 Station 3 : Topping Cycle Cogeneration with Gas Turbine

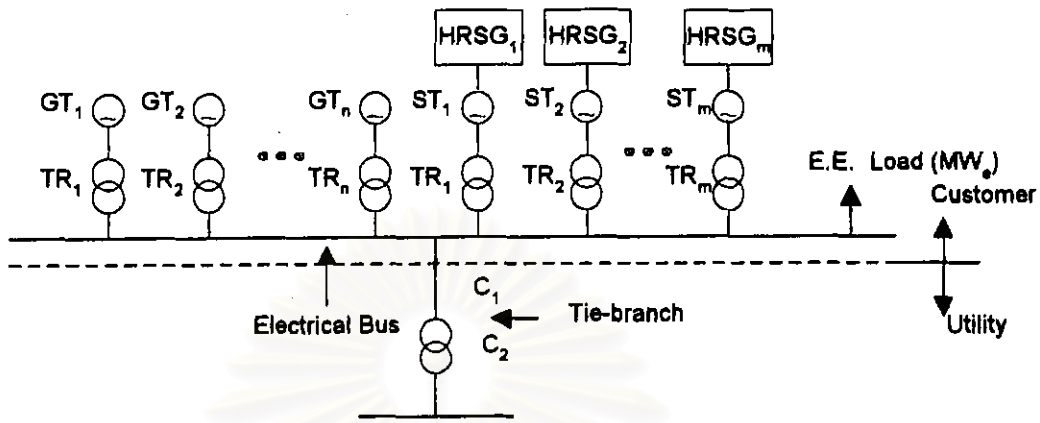


รูปที่ 3.3 แบบจำลองโรงไฟฟ้า Topping Cycle Cogeneration with Gas Turbine

วิธีการคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าจำลองเฉลี่ยของแบบจำลองนี้ทำได้ง่าย วิธีการคล้ายกับแบบที่ 1 เพียงแต่ตัดผลของ boiler ออก รวมทั้งไม่ต้องทำการเปรียบเทียบ capacity ในแต่ละสถานะ นอกจากนี้แบบจำลองนี้ยังสามารถใช้กับกรณีโคเจนเนอเรชันแบบ I.C. engine ได้อีกด้วย

3.1.4 Station 4: Combined Cycle Cogeneration with Steam Turbine as Topping Cycle (Unit Plant)

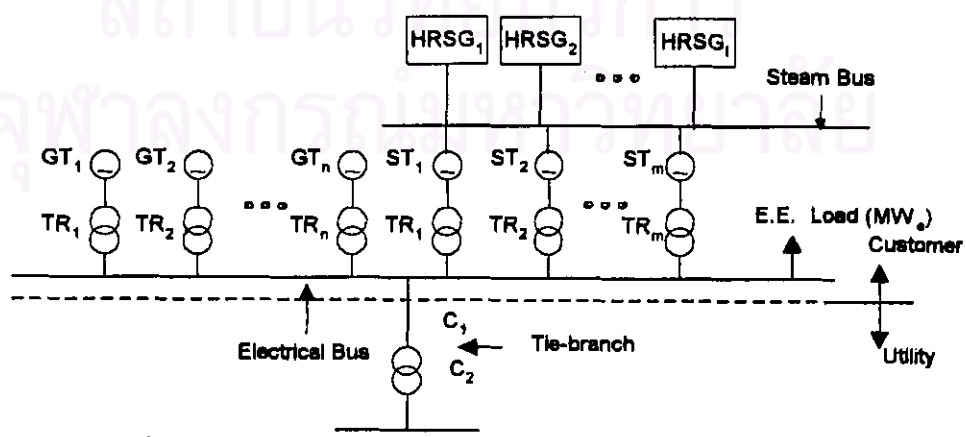
แบบจำลองนี้เป็นการรวมแบบจำลองแบบที่ 1 และแบบที่ 3 เข้าด้วยกัน วิธีการคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าจำลองเฉลี่ยทำได้โดยการแบ่งการคำนวณ COPT ออกเป็นสองตาราง โดยทำการคำนวณส่วนของ gas turbine เป็น COPT แรก และคำนวณส่วนของ steam turbine เป็นส่วนของ COPT ที่สอง จากนั้นพิจารณาส่วนของ COPT แรกเป็นยูนิตเดียวโดยเป็นยูนิตแบบ multi-state unit จากนั้นทำการเพิ่ม multi-state unit นี้เข้ากับ COPT ที่สอง หลังจากนั้นทำการรวมผลของ tie-branch เข้ากับ COPT รวมที่ได้คำนวณไว้แล้ว



รูปที่ 3.4 แบบจำลองโรงไฟฟ้าCombined Cycle Cogeneration with Steam Turbine as Topping Cycle (Unit Plant)

แบบจำลองนี้เป็นการรวมแบบจำลองแบบที่ 1 และแบบที่ 3 เข้าด้วยกัน วิธีการคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าจำลองเฉลี่ยทำได้โดยการแบ่งการคำนวณ COPT ออกเป็นสองตาราง โดยทำการคำนวณส่วนของ gas turbine เป็น COPT แรก และคำนวณส่วนของ steam turbine เป็นส่วนของ COPT ที่สอง จากนั้นพิจารณาส่วนของ COPT แรกเป็นยูนิตเดียวโดยเป็นยูนิตแบบ multi-state unit จากนั้นทำการเพิ่ม multi-state unit นี้เข้ากับ COPT ที่สอง หลังจากนั้นทำการรวมผลของ tie-branch เข้ากับ COPT รวมที่ได้คำนวณไว้แล้ว

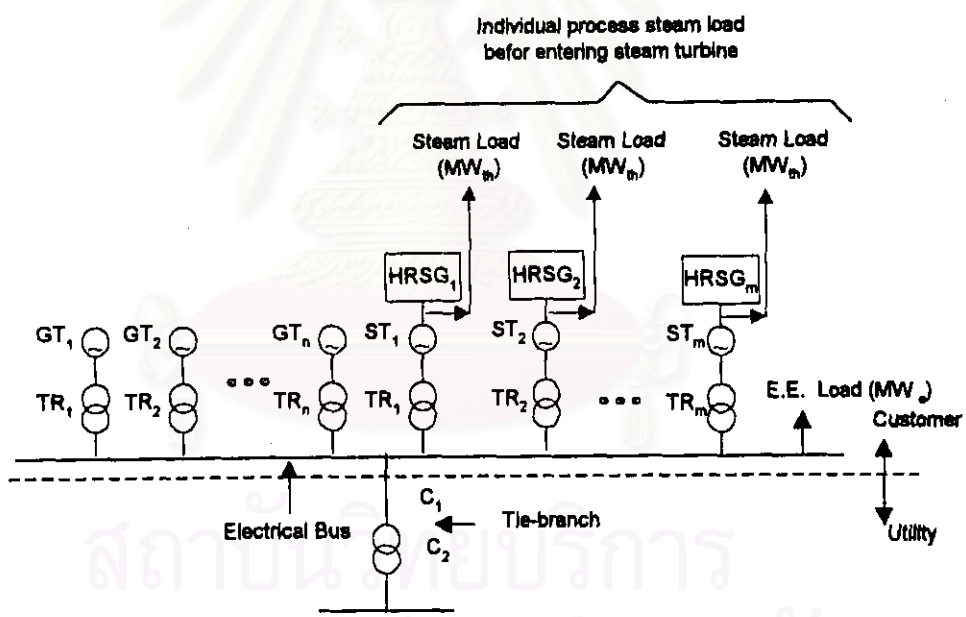
3.1.5 Station 5: Combined Cycle Cogeneration with Steam Turbine as Topping Cycle (Range Plant)



รูปที่ 3.5 แบบจำลองโรงไฟฟ้าCombined Cycle Cogeneration with Steam Turbine as Topping Cycle (Range Plant)

แบบจำลองนี้เป็นการรวมแบบจำลองแบบที่ 2 กับแบบที่ 3 เข้าด้วยกัน วิธีการคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยกรณีนี้จะทำการสร้าง COPT ออกเป็น 3 ตาราง โดยสร้างตาราง COPT สำหรับ HRSG สร้างตาราง COPT สำหรับ steam turbine และทำการสร้างตาราง COPT สำหรับ gas turbine จากนั้นทำการรวม COPT ของ HRSG กับ COPT ของ steam turbine โดยใช้วิธี conditional probability และทำการเปรียบเทียบ capacity ในแต่ละ สถานะ โดยเลือกค่า capacity ที่น้อยที่สุด จากนั้นพิจารณา COPT ของ gas turbine เป็นยูนิตเดียวที่เป็นแบบ multi-state unit จากนั้นทำการเพิ่มยูนิตเข้ากับ COPT ที่ได้คำนวณไว้แล้ว

3.1.6 Station 6: Combined Cycle Cogeneration with Steam Turbine as Bottoming Cycle (Unit Plant)



รูปที่ 3.6 แบบจำลองโรงไฟฟ้าCombined Cycle Cogeneration with Steam Turbine as Bottoming Cycle (Unit Plant)

แบบจำลองในกรณีนี้คล้ายกับแบบจำลองแบบที่ 4 แต่ต่างกันตรงที่ steam turbine เป็น bottoming cycle ซึ่งจะต้องมีการจ่ายโหลดไอน้ำให้กับกระบวนการผลิต ก่อนที่จะมาขับ steam turbine ดังนั้นเราจึงต้องคิดผลของโหลดไอน้ำก่อนที่จะขับ steam turbine ด้วย

steam load ในรูปเราจะต้องเลือก steam load เฉพาะส่วนที่อยู่ต้นทางก่อนที่จะไปขับ steam turbine ไม่ใช่เลือกโหลดไอน้ำทั้งหมด การที่เราเลือกโหลดไอน้ำเช่นนี้ เนื่องจากเราพิจารณา

คล้ายกับว่ามี loss ของ HRSG เกิดขึ้นแล้วเหลือ capacity เท่าใดที่จะไปจ่ายให้กับ steam turbine ดังนั้นในส่วนของโหลดไอน้ำส่วนอื่นที่ไม่เกี่ยวกับขั้นตอนของกระบวนการ bottoming cycle จะไม่นำมาใช้ในการคำนวณ เช่นกรณีโรงไฟฟ้าที่มี boiler ต่างหากเพื่อผลิตไอน้ำในส่วนที่ขาดแคลน ดังนั้นเราจะต้องพิจารณาเลือกโหลดไอน้ำให้ถูกต้อง

ขั้นตอนการคำนวณคล้ายกับแบบจำลองแบบที่ 4 โดยในขั้นตอนที่สร้างตาราง COPT ของ steam turbine หลักการหายูนิตสมมูลย์ทำเหมือนเดิมเพียงแต่ค่า capacity ของยูนิตสมมูลย์จะต้องหักออกด้วยค่า steam load (MW_{th}) ของแต่ละยูนิต

การคำนวณค่า steam load เราสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$Steam\ Load\ (kW_{th}) = \frac{m\,x\,h}{3600} \qquad (3.13)$$

โดยที่

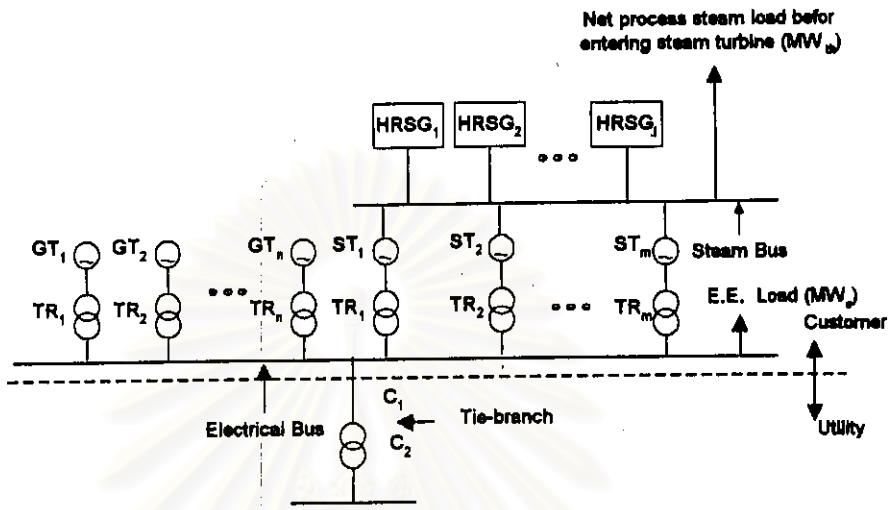
m = $flow\,rate\ (kg/hr)$

h = enthalpy of superheated steam (kJ/kg)

ค่า enthalpy เราสามารถหาได้จากวัดค่าอุณหภูมิ และค่าความดันของไอน้ำซึ่งโดยทั่วไปจะอยู่ในสถานะ superheated steam จากนั้นทำการเปิดตารางทาง thermodynamic ในตาราง superheated steam ก็จะได้ค่า enthalpy ของไอน้ำจากนั้นนำไปคูณด้วยค่า flow rate ก็จะได้ค่า steam load ซึ่งแปลงให้อยู่ในรูปของ kW ทางความร้อนซึ่งเป็นหน่วยเดียวกันกับทางไฟฟ้า

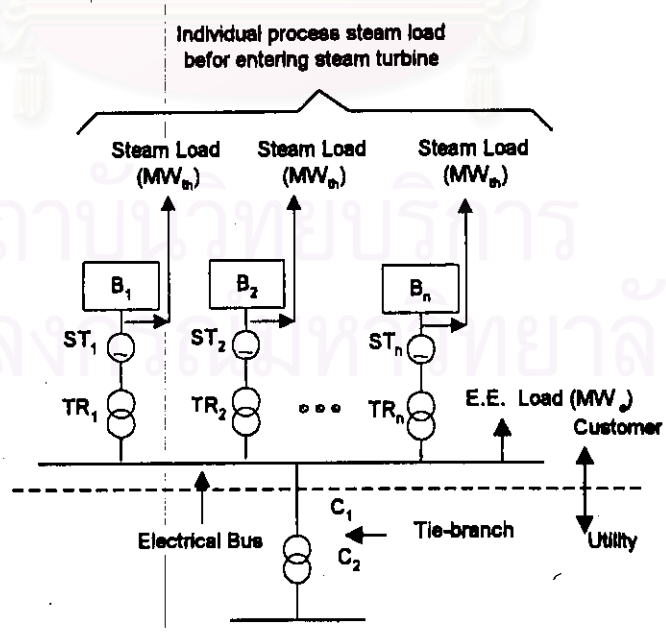
3.1.7 Station 7: Combined Cycle Cogeneration with Steam Turbine as Bottoming Cycle (Range Plant)

แบบจำลองกรณีนี้คล้ายกับแบบจำลองแบบที่ 5 เพียงแต่เพิ่ม net steam load (kW_{th}) ที่ steam bus เนื่องจากเป็นกรณี bottoming cycle นั่นเอง ดังนั้นขั้นตอนการคำนวณคล้ายกับแบบจำลองที่ 5 เพียงแต่ในขั้นตอนการคำนวณ COPT ของ steam turbine ค่า available capacity ในแต่ละสถานะ ของตาราง COPT จะต้องทำการหักออกด้วยค่า net steam load (kW_{th}) ออกทุก สถานะ จากนั้นขั้นตอนการคำนวณต่างๆ จะเหมือนกับแบบจำลองที่ 5



รูปที่ 3.7 แบบจำลองโรงไฟฟ้าCombined Cycle Cogeneration with Steam Turbine as Bottoming Cycle (Range Plant)

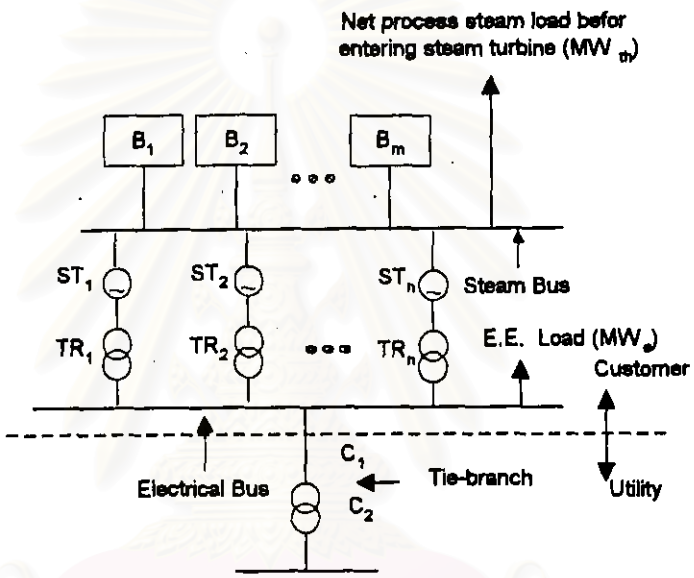
3.1.8 Station 8: Bottoming Cycle Cogeneration with Steam Turbine (Unit Plant)



รูปที่ 3.8 แบบจำลองโรงไฟฟ้า Bottoming Cycle Cogeneration with Steam Turbine (Unit Plant)

การคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าจำลองเฉลี่ยกรณีนี้ใช้หลักการเดียวกับแบบจำลองที่ 6 โดยตัดการคำนวณตาราง COPT ของ gas turbine ออก

3.1.9 Station 9: Bottoming Cycle Cogeneration with Steam Turbine (Range Plant)



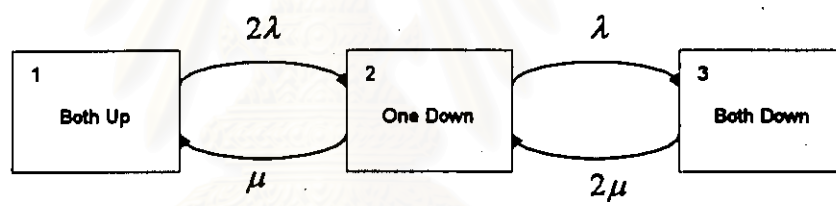
รูปที่ 3.9 แบบจำลองโรงไฟฟ้า Bottoming Cycle Cogeneration with Steam Turbine (Range Plant)

การคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าจำลองเฉลี่ยกรณีนี้ใช้หลักการเดียวกับแบบจำลองที่ 7 โดยตัดการคำนวณตาราง COPT ของ gas turbine ออก

3.2 สรุปสมการที่ใช้ในการคำนวณกรณี Multi-State Unit แบบต่างๆ

เนื่องจากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ในกรณีเครื่องแบบหลายสถานะ (Multi-state unit) เราจำเป็นต้องมีการ input ค่า probability ของแต่ละสถานะ ดังนั้นจึงทำการรวบรวมสมการต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณเครื่องแบบหลายสถานะ (multi-state unit) ในแบบต่างๆไว้ กรณีอื่นนอกเหนือจากนี้สามารถทำการคำนวณได้โดยใช้วิธี Markov Process ทำการสร้าง stochastic transitional probability matrix [1] แล้วทำการแก้สมการโดยเพิ่มสมการที่เป็นเงื่อนไขเริ่มต้น และทำการตัดสมการที่ไม่จำเป็นออก ก็จะได้ค่าความน่าจะเป็นของแต่ละสถานะ วิธีการในการคำนวณที่กล่าวมาสามารถตรวจสอบได้จาก [1]

3.2.1 กรณี two-identical repairable components



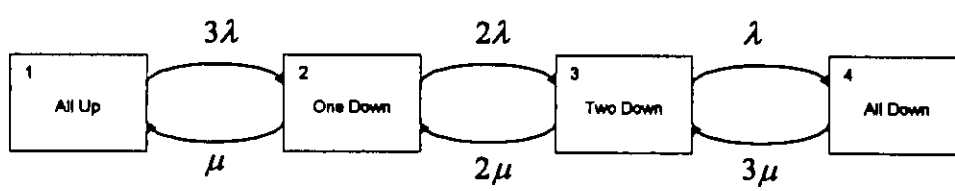
รูปที่ 3.10 กรณี two-identical repairable components

$$P_1 = \frac{\mu^2}{(\lambda+\mu)^2} \tag{3.14}$$

$$P_2 = \frac{2\lambda\mu}{(\lambda+\mu)^2} \tag{3.15}$$

$$P_3 = \frac{\lambda^2}{(\lambda+\mu)^2} \tag{3.16}$$

3.2.2 กรณี three-identical repairable components



รูปที่ 3.11 กรณี three-identical repairable components

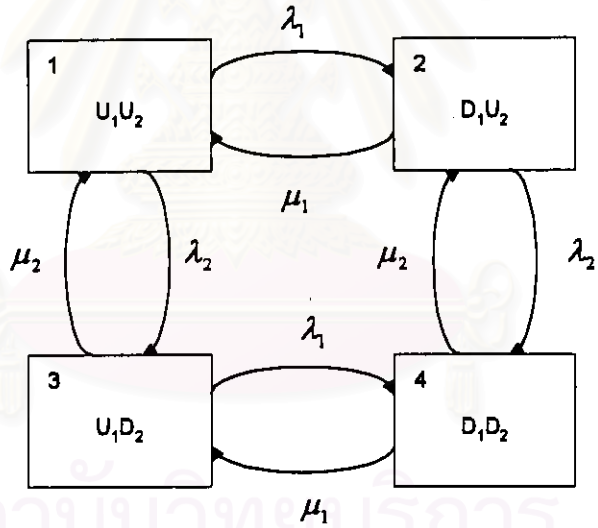
$$P_1 = \frac{\mu^3}{(\lambda+\mu)^3} \tag{3.17}$$

$$P_2 = \frac{3\lambda\mu^2}{(\lambda+\mu)^3} \tag{3.18}$$

$$P_3 = \frac{3\lambda^2\mu}{(\lambda+\mu)^3} \tag{3.19}$$

$$P_4 = \frac{\lambda^3}{(\lambda+\mu)^3} \tag{3.20}$$

3.2.3 กรณี two-dissimilar repairable components



รูปที่ 3.12 กรณี two-dissimilar repairable components

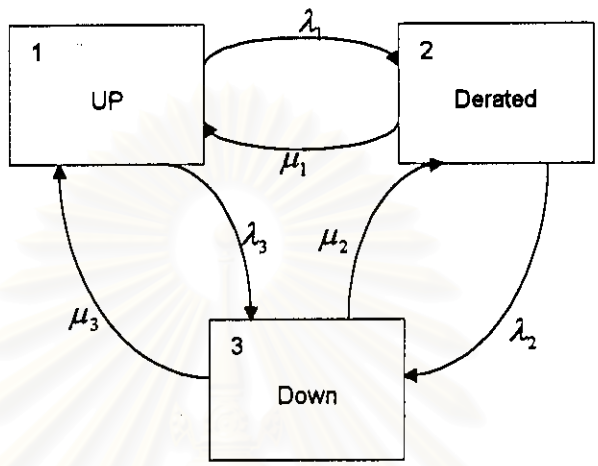
$$P_1 = \frac{\mu_1\mu_2}{(\lambda_1+\mu_1)(\lambda_2+\mu_2)} \tag{3.21}$$

$$P_2 = \frac{\lambda_1\mu_2}{(\lambda_1+\mu_1)(\lambda_2+\mu_2)} \tag{3.22}$$

$$P_3 = \frac{\lambda_2\mu_1}{(\lambda_1+\mu_1)(\lambda_2+\mu_2)} \tag{3.23}$$

$$P_4 = \frac{\lambda_1\lambda_2}{(\lambda_1+\mu_1)(\lambda_2+\mu_2)} \tag{3.24}$$

3.2.4 กรณี ternary model for repairable components



รูปที่ 3.13 กรณี ternary model for repairable components

$$P_1 = \frac{\mu_3\mu_2 + \mu_3\lambda_2 + \mu_1\mu_2}{\phi} \tag{3.25}$$

$$P_2 = \frac{\lambda_1\mu_3 + \lambda_1\mu_1 + \lambda_3\mu_1}{\phi} \tag{3.26}$$

$$P_3 = \frac{\lambda_3\mu_2 + \lambda_3\lambda_2 + \lambda_1\lambda_2}{\phi} \tag{3.27}$$

$$\phi = \lambda_3\mu_2 + \lambda_3\mu_1 + \lambda_3\lambda_2 + \lambda_1\mu_3 + \lambda_1\mu_1 + \lambda_1\lambda_2 + \mu_3\lambda_2 + \mu_3\mu_2 + \mu_1\mu_2 \tag{3.28}$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย